



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 44 04 419 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁶:
B 25 B 23/151
B 25 B 23/00

②1 Aktenzeichen: P 44 04 419.4
②2 Anmeldetag: 11. 2. 94
④3 Offenlegungstag: 24. 8. 95

DE 4404419 A1

⑦1 Anmelder:

Schatz GmbH, 42897 Remscheid, DE

⑦4 Vertreter:

Moll, W., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat.; Glawe, U.,
Dipl.-Phys. Dr.rer.nat.; Merkau, B., Dipl.-Phys., 80538
München; Delfs, K., Dipl.-Ing.; Mengdehl, U.,
Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Niebuhr, H., Dipl.-Phys.
Dr.phil.habil., Pat.-Anwälte, 20148 Hamburg

⑦2 Erfinder:

Erfinder wird später genannt werden

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE 27 51 885 A1
PFAFF, Helmut;
THOMALA, Wolfgang: Streuung der Vor-spannkraft
beim Anziehen von SchraubenverbindungenIn:
VDI-Z 124, 1982, Nr.18, S. S76-S89;

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren und Vorrichtung zum gesteuerten Festziehen von Schraubverbindungen

DE 4404419 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 06. 95 508 034/21

7/28

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum gesteuerten Festziehen von Schraubverbindungen von der im Oberbegriff des Anspruchs 1 angegebenen Art, sowie eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

Bei dem üblichen Anziehen von Schrauben bis zum Erreichen eines vorgegebenen Drehmoments ergibt sich der Nachteil, daß die dem erreichten Drehmoment zugeordnete Axialkraft der Schraube von der Reibung sowohl in den Gewindegängen der Schraube als auch zwischen den Anlageflächen von Schraubenkopf bzw. Mutter und Werkstück abhängt. Da die Reibbeiwerte oftmals Toleranzen von $\pm 50\%$ aufweisen, müssen die verwendeten Schraubverbinder stark überdimensioniert sein, damit eine Mindestvorspannkraft gewährleistet ist.

Das ebenfalls bekannte Anziehen der Schraube bis zum Erreichen der Streckgrenze erlaubt eine Montage, die bei Annahme relativ konstanter Materialeigenschaften der Schraube eine definierte Vorspannkraft gewährleistet. Dabei kann jedoch nicht erkannt werden, ob das Einsetzen der plastischen Verformung auf Torsion oder Längung der Schraube zurückzuführen ist, d. h. es besteht die Möglichkeit, daß trotz Erreichen der Streckgrenze die Mindestvorspannkraft nicht gewährleistet ist. Außerdem erfordert das Verfahren ein Anziehen der Schraube bis in den Fließbereich, so daß zusätzliche Belastungen der Schraube im Betrieb nur bedingt aufgenommen werden können.

Bekannt ist es auch, beim Anziehen einer Schraube die Momentanwerte des Drehmoments und des Drehwinkels laufend zu messen und den Schraubvorgang so zu steuern, daß ein vorgegebener Zusammenhang zwischen Drehwinkel und Drehmoment, vorzugsweise ein vorgegebener Wert des Verhältnisses von Drehmoment zu Drehwinkel, innerhalb vorgegebener Toleranzen eingehalten wird. Ein solches Verfahren entsprechend dem Oberbegriff des Anspruchs 1 ist aus der EOS 2751885 bekannt. Hierbei wurde auch bereits erkannt, daß die großen Toleranzen der Reibungskräfte im Gewinde und unter dem Schraubenkopf sowie der Mutter erhebliche Fehlerquellen darstellen, welche die Genauigkeit der erhaltenen Axiallast bzw. Vorspannkraft der Schraube beeinträchtigen. Bei dem vorbekannten Verfahren wird ausgehend von einem von durch Extrapolation der Drehmoment/Drehwinkel-Abhängigkeit ermittelten theoretischen spannungslosen Winkellage, die Schraube um ein Winkelintervall $\Delta\varphi$ festgezogen, das aufgrund der als bekannt unterstellten Federkonstante, d. h. dem Axiallast/Drehungsverhältnis der jeweiligen Schraubverbindung, ermittelt wird. Dieses Verhältnis muß durch Versuchsreihen für die jeweilige Schraubverbindung im voraus ermittelt werden. Da diese Messungen durch die jeweiligen Reibungsverhältnisse beeinflusst werden, setzt das bekannte Verfahren voraus, daß das Axiallast/Drehungsverhältnis nicht nur für alle in Frage kommenden Typen von Schraubverbindern, sondern für jede in Betracht kommende Paarung eines bestimmten Schraubverbinders mit einem bestimmten Werkstück gemessen wird. Auch bei diesem bekannten Verfahren kann nicht berücksichtigt werden, daß in der Praxis die Reibbeiwerte sehr stark schwanken können, z. B. durch Öl, Verschmutzung, Oberflächenbeschichtung od. dgl.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung der angegebenen Art so auszubilden, daß für den jeweils zu steuernden Schraubvorgang der Einfluß der konkret vorliegenden Reibungsverhältnisse berücksichtigt werden kann, ohne daß zuvor entsprechende Versuche durchgeführt werden müssen.

Die Lösung der Aufgabe ist in den Ansprüchen 1 und 7 angegeben. Die Unteransprüche beziehen sich auf vorteilhafte weitere Ausgestaltung.

Gemäß der Erfindung kann während der Montage der aktuelle Reibbeiwert μ aus Drehmoment und Drehwinkel ermittelt werden. Somit kann bei einer konventionellen Schraubmontage auf ein vorgegebenes Drehmoment durch Heranziehung des Drehwinkels der Reibbeiwert, und damit die tatsächlich erzielte Vorspannkraft in der Schraubverbindung ermittelt werden. Damit können existierende Montageverfahren dahingehend verbessert werden, daß die tatsächliche Beanspruchung der Schraube erkannt werden kann, insbesondere daß zwischen den sich überlagernden Kräften aufgrund von Axialkraft und Torsion, unterschieden werden kann.

Eine Ausführungsform der Erfindung wird auch an der Zeichnung näher erläutert. Diese zeigt in schematischer Darstellung einen Schrauber mit einer Steuereinrichtung gemäß der Erfindung.

Die dargestellte Vorrichtung enthält einen Kraftschrauber 1 und ein daran angeschlossenes Steuergerät 3. Der Schrauber 1 hat einen Drehmomentsensor 5 zum Erfassen des Momentanwertes des Montagedrehmoments M_D und einen Drehwinkelgeber zum Erfassen des Drehwinkels φ . Die gemessenen Werte gelangen über entsprechende Signaleingänge des Steuergerätes 3 an dessen Recheneinheit 9. Eventuell erforderliche Verstärker- und/oder Signalformerstufen sind der Einfachheit halber weggelassen. Die Recheneinheit 9 vergleicht in an sich bekannter Weise die Momentanwerte von φ und M_D mit Vorgabewerten und erzeugt entsprechende Steuersignale für ein Steuerglied 11 des Schraubers 1, z. B. ein Absperr- und/oder Drosselventil in einer an den Schrauber 1 angeschlossenen Druckluftleitung 13. Insbesondere kann die Recheneinheit 9 den Schrauber so steuern, daß der Quotient M_D/φ innerhalb vorgegebener Toleranzen gehalten wird und daß der Schrauber abgeschaltet wird, wenn ein vorgegebener Maximalwert des Drehmomentes M_D erreicht wird. Diese Steuerung des Schraubers 1 ist konventionell und wird deshalb nicht im einzelnen näher erläutert.

Zusätzlich errechnet die Recheneinheit 9 erfindungsgemäß den Momentanwert des Reibbeiwertes μ als Funktion des Drehmomentes M_D und des Drehwinkels φ . Dabei werden folgende Zusammenhänge berücksichtigt.

Es werden die folgenden Symbole verwendet:

A_S :	Spannungsquerschnitt der Schraube	
d_2 :	mittl. Flankendurchmesser des Gewindes	
D_{KM} :	mittl. Kopfdurchmesser der Schraube	
E :	E-Modul der Schraube \rightarrow effort de serrage.	5
F_V :	Vorspannkraft (Klemmkraft)	
l :	Klemmlänge der Schraube	
Δl :	Längenänderung bei Vorspannung	
M_D :	Montagedrehmoment	
M_F :	Drehmoment nach Fügen aller Klemmteile	10
μ :	Vergleichsreibungszahl (Reibbeiwert)	
p :	Gewindesteigung	
φ :	Drehwinkel ab Kopfauflage der Schraube	
$\Delta\varphi$:	Drehwinkel ab Fügedrehmoment	15

In Schraubverbindungen gilt folgender Zusammenhang zwischen Drehmoment und Vorspannkraft (bei DIN-Schrauben mit Flankenwinkel von 60°):

$$(1) \quad F_V = \frac{M_D}{\mu \cdot 0,58 \cdot d_2 + 0,16 \cdot p + \mu \cdot \frac{D_{KM}}{2}} \quad 20$$

Bezüglich der Längung der Schraube gilt folgender Zusammenhang: 25

$$(2) \quad F_V = \frac{A_S \cdot E \cdot \Delta l}{l} \quad 30$$

Wird der Torsionswinkel innerhalb der Schraube gegenüber dem Verdrehwinkel vernachlässigt, so können folgende Größen gleichgesetzt werden. 35

$$(3) \quad \Delta l = \frac{\varphi \cdot p}{360} \quad 35$$

Diese Abhängigkeit kann in Formel (2) eingesetzt werden: 40

$$(4) \quad F_V = \frac{A_S \cdot E \cdot \varphi \cdot p}{l \cdot 360} \quad 45$$

Die Gleichungen (1) und (4) können gleichgesetzt werden: 45

$$(5) \quad \frac{M_D}{\mu \cdot 0,58 \cdot d_2 + 0,16 \cdot p + \mu \cdot \frac{D_{KM}}{2}} = \frac{A_S \cdot E \cdot \varphi \cdot p}{l \cdot 360} \quad 50$$

Die Gleichung (5) enthält nur noch Meßgrößen, die mittels einer entsprechenden Meßtechnologie während des Schraubprozesses ermittelt werden können. Aus der Gleichung (5) kann der Reibbeiwert μ ermittelt werden: 55

$$(6) \quad \mu = \frac{1 \cdot 360 \cdot M_D}{A_S \cdot E \cdot \varphi \cdot p} - 0,16 \cdot p \quad 60$$

$$\frac{0,58 \cdot d_2 + \frac{D_{KM}}{2}}$$

Der Rechner 9 ist so programmiert, daß er den Wert von μ anhand der vorstehenden Gleichung (6) errechnet. Die dafür erforderlichen Werte der Konstanten in der Gleichung (6) sind in einem Speicher 15 des Steuergerätes 3 gespeichert. Der Speicher kann mehrere Sätze dieser Konstanten für Schrauben unterschiedlichen Nenn-durchmessers enthalten. Das Steuergerät kann eine Tastatur 17 aufweisen, mit der die Werte über den Rechner 9 65

in den Speicher 15 eingegeben werden können. Das Steuergerät 3 kann eine numerische Anzeige 19 aufweisen, mit der der jeweils errechnete Reibbeiwert μ angezeigt wird.

Da der Zusammenhang von Drehmoment und Drehwinkelweg während des Fügevorgangs nicht linear verläuft, kann das Verfahren zu falschen Ergebnissen führen, wenn der Drehwinkel ab Kopfaufgabe ermittelt wird. Deshalb kann erfindungsgemäß vorgesehen sein, den Drehwinkel erst ab Erreichen eines bestimmten Drehmoments zu messen, insbesondere ab Erreichen des Drehmomentes M_F nach Fügen aller Klemmteile. In diesem Fall ist die Gleichung (6) wie folgt abzuändern:

$$(7) \quad \mu = \frac{1 \cdot 360 \cdot (M_D - M_F)}{A_S \cdot E \cdot \Delta\varphi \cdot p} - 0,16 \cdot p$$

$$0,58 \cdot d_2 + \frac{D_{KM}}{2}$$

Das Erreichen des Fügedrehmoments M_F kann vom Rechner 9 anhand des Verlaufes der Drehmoment-Drehwinkel-Kurve erkannt werden.

Die Erfindung gibt die Möglichkeit, nicht nur, wie bekannt, die Meßgrößen Drehmoment und Drehwinkel, sondern auch die errechneten Größen, d. h. den Reibbeiwert bzw. nach Gleichung (1) auch die Vorspannkraft, während der Messung auf Toleranzen zu überwachen. Insbesondere ergibt eine Abweichung des Reibbeiwertes eine Qualitätsaussage über die verschraubten Teile, die Vorspannkraft gibt eine Aussage darüber, ob die Mindestklemmkraft erreicht wurde.

Aus dem Reibbeiwert und der Vorspannkraft kann z. B. nach der Hypothese der größten Gestaltungsänderungsarbeit überprüft werden, wie die Schraube durch Torsion und Vorspannkraft belastet wurde.

Durch die Kombination der Meßwerte und der errechneten Werte kann das Meßsystem eine Nacharbeitsstrategie automatisch vorschlagen, da erkannt wird, ob die Schraube überdehnt ist, ob die Mindestklemmkraft erreicht ist bzw. ob sie bei den errechneten Reibbeiwerten erreicht werden kann, ohne die Schraube zu überlasten.

Das Verfahren erlaubt eine Minimierung von Ausschußteilen, da die Fehlerursache besser definiert werden kann.

Außerdem erlaubt das Verfahren den Einsatz von weniger überdimensionierten Schrauben, da der größte Unsicherheitsfaktor, der Reibbeiwert, gezielt erfaßt und berücksichtigt werden kann.

Patentansprüche

1. Verfahren zum gesteuerten Festziehen von Schraubverbindungen, bei dem während des Festziehens einer Schraube oder einer Mutter laufend der Drehwinkel φ und das aufgebrachte Drehmoment M_D gemessen und aus den gemessenen Werten Steuergrößen für den Schraubvorgang errechnet werden, dadurch gekennzeichnet, daß aus den laufend gemessenen Werten M_D und φ laufend ein Reibbeiwert μ der Schraubverbindung errechnet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Reibbeiwert nach der Formel

$$\mu = \frac{C_1 \cdot \frac{360^\circ}{\varphi} \cdot M_D - C_2}{C_3}$$

errechnet wird, wobei C_1 , C_2 und C_3 Konstanten sind, die in Abhängigkeit von den Abmessungen und Materialeigenschaften der Schraubverbindung vorgegeben sind.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die laufende Berechnung des Reibbeiwertes μ von dem Zeitpunkt an vorgenommen wird, an welchem der Schraubenkopf oder die Mutter zur Auflage kommt und das aufgebrachte Drehmoment M_D dadurch über einen Fügomentwert M_F ansteigt, wobei der Drehwinkel $\Delta\varphi$ ausgehend von dem bei Erreichen des Fügomentes M_F erreichten Drehwinkel φ_F gemessen wird und der Reibbeiwert μ nach der Formel

$$\mu = \frac{C_1 \cdot \frac{360^\circ}{\Delta\varphi} \cdot (M_D - M_F) - C_2}{C_3}$$

berechnet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Konstanten C_1 , C_2 und C_3 definiert sind durch die Formeln

$$C_1 = \frac{1}{A_s \cdot E \cdot p} ; C_2 = 0,16 p ; C_3 = 0,58 \cdot d_2 + \frac{D_{KM}}{2}$$

5

wobei

l die Klemmlänge der Schraube,

p die Gewindesteigung,

d₂ der mittlere Flankendurchmesser,

D_{KM} der mittlere Kopfdurchmesser der Schraube oder Mutter,

A_s der Spannungsquerschnitt der Schraube,

E der Elastizitätsmodul der Schraube sind, und das Gewinde einen Flankenwinkel von 60° hat.

5. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß aus dem errechneten Reibbeiwert μ laufend die wirksame Vorspannkraft F_v nach der Formel

15

$$F_v = \frac{M_D}{C_2 + \mu \cdot C_3}$$

20

errechnet wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der errechnete Reibbeiwert μ und/oder die errechnete Vorspannkraft F_v laufend auf Abweichungen von vorgegebenen Sollwerten überwacht werden.

25

7. Vorrichtung zum gesteuerten Festziehen von Schraubverbindungen, mit einem Schraubgerät (1), das einen Drehmomentsensor (5) und einen Drehwinkelgeber (7) aufweist, und einem Steuergerät (3), das anhand der Momentanwerte M_T, φ von Drehmoment und Drehwinkel den Schraubvorgang steuert, dadurch gekennzeichnet, daß das Steuergerät (3) einen Rechner (9) zum Errechnen des momentanen Reibbeiwertes (μ) nach der Formel

30

$$\mu = \frac{C_1 \cdot \frac{360^\circ}{\varphi} \cdot M_D - C_2}{C_3}$$

35

wobei C₁, C₂ und C₃ im Gerät gespeicherte oder aus gespeicherten Größen errechnete Konstanten sind, und eine Anzeigeeinrichtung (19) zum Anzeigen des errechneten Reibbeiwertes (μ) aufweist.

40

8. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Gerät ein Eingabemittel (17) zum Eingeben von der jeweils vorliegenden Schraubverbindung zugeordneten Werten für

l Klemmlänge der Schraube

45

p Gewindesteigung

d₂ mittlerer Flankendurchmesser

D_{KM} mittlerer Kopfdurchmesser der Schraube oder Mutter

A_s Spannungsquerschnitt der Schraube

50

E Elastizitätsmodul der Schraube

sowie einen an den Rechner (9) angeschlossenen Speicher (15) zum Speichern dieser Werte aufweist.

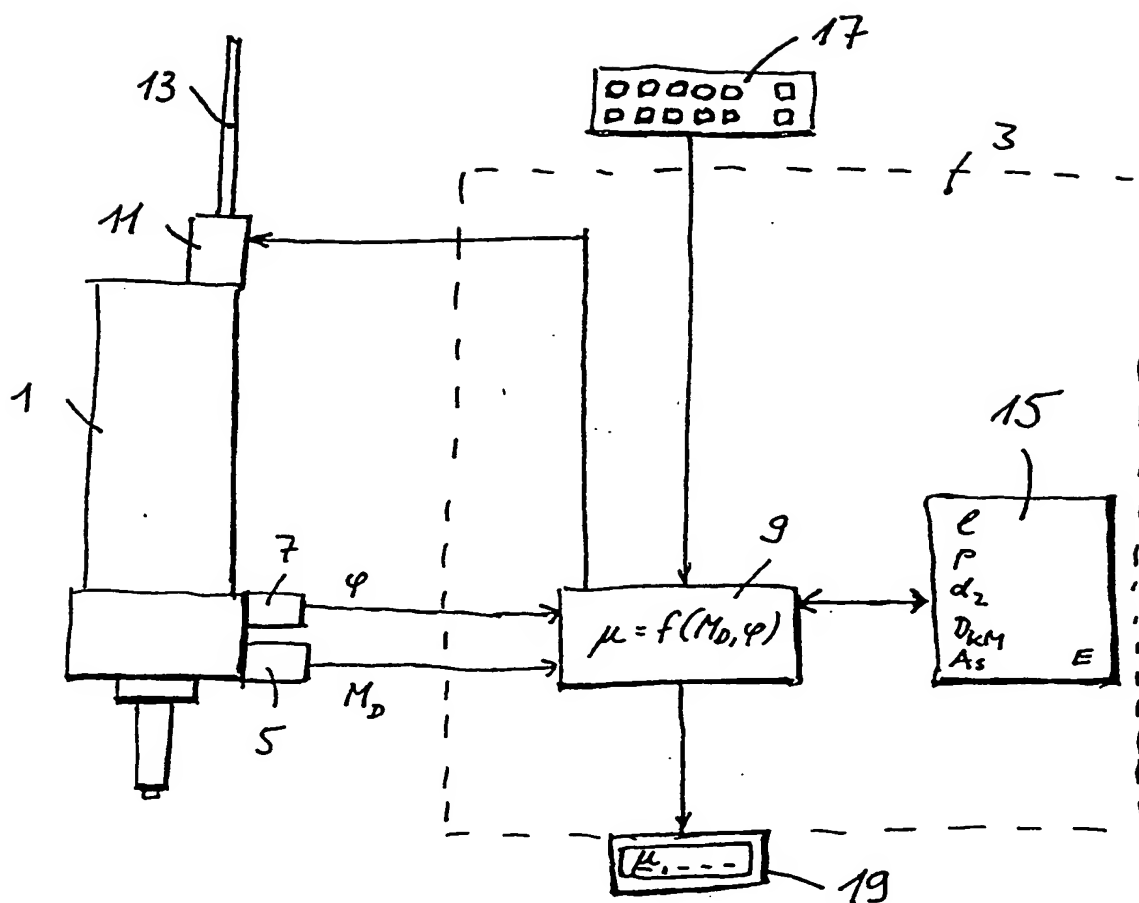
Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

55

60

65

THIS PAGE BLANK (USPTO)



THIS PAGE BLANK (USPTO)